

# 大兴安岭中南段花岗岩中黑云母矿物学 地球化学特征及成因意义

吕志成<sup>1,2</sup> 李鹤年<sup>2</sup> 刘丛强<sup>3</sup> 刘家军<sup>1</sup> 郝立波<sup>2</sup>

(1 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放实验室, 贵阳 550002)

(2 长春科技大学, 长春 130026)

(3 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)



**【摘要】** 大兴安岭中南段花岗岩中黑云母的矿物学和地球化学特征研究表明, 海西晚期花岗岩岩体黑云母 Mg 高 Fe<sup>3+</sup> 低, Mg 原子数 > 0.6, Fe<sup>3+</sup> 原子数 < 1.1, 而燕山期  $\gamma_5^{2-3}$  岩体黑云母 Mg 原子数 < 0.6, Fe<sup>3+</sup> 原子数 > 1.1, 燕山晚期  $\gamma_5^{3-1}$  岩体黑云母 Mg 原子数 < 0.4, Fe<sup>3+</sup> 原子数 > 1.9, 本区黑云母成分特征介于华南二成因系列之间, 兼具二系列的某些特点, 表明本区花岗岩的壳幔混源特点。本区南部地区与 W, Sn 成矿有关的  $\gamma_5^{2-3}$  岩体中黑云母以富 Si, Fe 贫 Mg 为特点, 微量元素富 Sn, 平均质量分数为  $92.5 \times 10^{-6}$ , 而北区与 Cu, Pb, Zn 成矿有关的  $\gamma_5^{2-3}$  岩体黑云母中 SiO<sub>2</sub> 质量分数较 Sn 成矿岩体为低, 微量元素 Sn 平均为  $49.4 \times 10^{-6}$ , 而 Cu, Pb, Zn 高出岩体质量分数 5~10 倍, 且方差大, 明显较富 Sn 花岗岩为高, 与 Sn 多金属矿床成矿有关的  $\gamma_5^{3-1}$  花岗岩黑云母中 Sn, Cu, Pb, Zn 质量分数均高出相应岩体质量分数的 5~10 倍。

**【关键词】** 黑云母; 矿物学特征; 地球化学特征; 成因意义; 大兴安岭中南段

中图法分类号: P588.12 1; P578.959; P595 文献标识码 A

## 1 黑云母产出的地质背景

大兴安岭中南段北起乌兰浩特, 南至西拉木伦河, 东达松辽沉降带, 即北纬  $42^{\circ}50'$  至  $46^{\circ}41'$  之间的大兴安岭地区, 在区域地层分区中属大兴安岭分区林西小区和乌兰浩特小区。

区内花岗质岩浆活动甚为发育, 按其形成的时代顺序可分为海西晚期和燕山期花岗岩。海西晚期

花岗岩 ( $\gamma_4^3$ ) 岩石类型主要为花岗闪长岩、黑云母斜长花岗岩、黑云母二长花岗岩和钾长花岗岩, 岩体呈岩基状产出, 相带不明显, 具片麻状构造, 受东西向和北东向构造控制, 黑云母为该期岩体主要的暗色造岩矿物, 含量为 2%~10%, 粒径在 0.5 mm~1 mm 之间, 呈半自形片状, 大致呈定向性排列。燕山期花岗岩在区内广泛分布, 可分为三个侵入期, 依次为中侏罗世花岗质岩体 ( $\gamma_5^{2-2}$ )、晚侏罗世花岗质岩体 ( $\gamma_5^{2-3}$ ) 及早白垩世花岗质岩体 ( $\gamma_5^{3-1}$ )。燕山期花

文章编号: 1001-6872(2000)03-0001-08 CODEN KUYAE2

收稿日期 (Manuscript received): 2000-01-18

基金项目: 本文的研究得到教育部博士点基金项目 (No. 97018701) 和国 95 攀登计划预选项目 (95 预 39) 的联合资助。

第一作者简介: 吕志成 男 34 岁 博士 副教授 地球化学专业 研究方向: 矿床地球化学、岩石地球化学

花岗岩多呈岩株,岩脉状产出,其岩石类型主要为花岗闪长岩、斜长花岗岩、二长花岗岩、钾长花岗岩、石英正长斑岩、花岗斑岩等,黑云母含量为 3%~5%,有些岩体含量更少,为 1%~2%,只有个别岩体含量可达 10%,在一般岩体中黑云母均呈他形、半自形,片状镶嵌在长石、石英颗粒之间。燕山期花岗岩以黄岗-甘珠尔庙-乌兰浩特断裂带为界可分为南部岩区和北部岩区,断裂带两侧岩体成分、成矿专属性等特征明显不同,南部岩区为锡多金属成矿区,北部岩区为铜多金属成矿区。

## 2 黑云母的物理光学特征

区内不同时代典型花岗岩体中的黑云母物理光学性质见表 1,从表中看出,主要光学和物理参数有一定变化规律。

### 2.1 折射率

本区黑云母  $N_g$  一般大于 1.660,海西晚期 ( $\gamma_4^3$ ) 的孟恩陶勒盖、色布尔等岩体  $N_g$  一般为 1.658~1.668,而燕山期  $\gamma_5^{2-3}$  的杜尔基岩体、狄尔塔拉等岩体  $N_g$  为 1.670~1.685,即燕山期岩体  $N_g$  明显偏高,这与燕山期花岗岩中黑云母含铁系数大有关,因而  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Ti^{3+}$  等过渡金属离子具有高自旋状态排布的 3d 电子,其中某些 3d 电子占据非键轨道而具有非定域特性,从而使矿物结构中原子间的电子密度增大,导致光波速度减慢,折射率增

高。

### 2.2 2V 角

黑云母的 2V 角用费氏台测定,不同时代黑云母也明显不同,海西期岩体中黑云母 2V 角变化于  $3.22^\circ \sim 4.02^\circ$  之间,而燕山期岩体中黑云母变化于  $3.70^\circ \sim 5.95^\circ$  之间,一般均大于  $4^\circ$ 。

### 2.3 密度

黑云母的密度与含铁系数有明显的相关性,海西期岩体中黑云母密度小,在  $2.8193 \text{ g/cm}^3 \sim 3.3326 \text{ g/cm}^3$ ,而富铁的晚侏罗 ( $\gamma_5^{2-3}$ ) 燕山期岩体黑云母的密度为  $3.0784 \text{ g/cm}^3 \sim 4.2101 \text{ g/cm}^3$  之间,一般大于  $4 \text{ g/cm}^3$ ,但花岗闪长斑岩中黑云母密度较小,与其独特的成因条件有关。

### 2.4 磁化率

黑云母中的磁化率在不同时代的岩体中差别不甚明显,但燕山期岩体黑云母磁化率变化较大,除杜尔基岩体有偏高的趋势外,其他岩体均偏低,可能与黑云母遭后期蚀变有关。

### 2.5 $b_0$ 值

黑云母  $b_0$  值是在 X 射线衍射仪上测定,海西晚期 ( $\gamma_3^4$ ) 岩体中黑云母  $b_0$  值变化于  $0.925 \text{ nm} \sim 0.927 \text{ nm}$  之间,燕山期岩体 ( $\gamma_5^{2-3}$ ) 黑云母的  $b_0$  值变化于  $0.929 \text{ nm} \sim 0.930 \text{ nm}$  (除敖兰敖日格岩体为  $0.920 \text{ nm}$  外),比海西晚期岩体为高。将  $b_0$  与含铁系数作图 (图略) 可看出,  $b_0$  值与黑云母含铁系数成正比,与  $Mg^{2+} / (Mg^{2+} + Fe^{2+})$  成反比。

表 1 大兴安岭中南段花岗岩中黑云母物性和光性测试数据表

Table 1 The physical and optical character data of biotite in the granite from south-middle section of the Great Xinan Mountains

岩体时代	编号	岩石类型	颜色	$b_0$ 值 /nm	$N_g$	2V	密度 $\rho / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	磁化率 $\times 10^{-6}$
$\gamma_4^3$	S-001	黑云母斜长花岗岩	绿褐-黄褐	0.925 44	1.658 0	3.22	2.819 3	39.3
$\gamma_4^3$	Ab-1	黑云母斜长花岗岩	深褐-浅褐	0.925 92	1.660 0	3.47	3.134 4	41.4
$\gamma_4^3$	Y004	黑云母斜长花岗岩	深褐-浅褐	0.926 04	1.664 0	3.56	3.157 5	41.7
$\gamma_4^3$	KD-124	黑云母斜长花岗岩	深褐-浅褐	0.926 04	1.669 0	3.59	3.290 9	42.2
$\gamma_4^3$	A0-20	黑云母斜长花岗岩	深褐-浅绿褐	0.926 46	1.674 0	3.60	3.332 6	42.5
$\gamma_4^3$	C-001	黑云母斜长花岗岩	按褐-黄褐	0.927 18	1.668 0	3.58	3.394 8	
$\gamma_4^3$	Ab-2	黑云母斜长花岗岩	黄褐-绿褐	0.930 42	1.670 0	3.85	3.452 5	
$\gamma_4^3$	K-129	黑云母斜长花岗岩	黄褐-绿褐	0.927 30	1.676 0	4.02		
$\gamma_5^{2-3}$	A-004	花岗闪长斑岩	绿褐-黄褐	0.927 30	1.648 0	2.84	2.752 4	38.8
$\gamma_5^{2-3}$	Dr-1	黑云母钾长花岗岩	黄褐-绿褐	0.929 88	1.680 0	4.58	4.128 4	42.3
$\gamma_5^{2-3}$	Dr-2	黑云母钾长花岗岩	黄褐-绿褐	0.930 12	1.682 0	5.48	4.150 7	45.3
$\gamma_5^{2-3}$	Dg-3	黑云母钾长花岗岩	黄褐-绿褐	0.925 92	1.669 0	3.70	3.768 2	40.2
$\gamma_5^{2-3}$	Dg-4	黑云母钾长花岗岩	黄褐-绿褐	0.925 74	1.668 0	3.47	3.078 4	
$\gamma_5^{2-3}$	A-008	黑云母钾长花岗岩	褐-黄褐	0.929 58	1.680 0	4.67	4.172 0	38.4
$\gamma_5^{2-3}$	A018	黑云母钾长花岗岩	黄褐-绿褐	0.929 28	1.685 0	5.59	4.210 1	38.8

## 3 黑云母化学成分特征

分及相应的单位晶胞离子数见表 2 表 3

由表可知,本区黑云母  $w_{\text{SO}_2}$  多在 34%~36% 之间,平均 35.58%,较南岭花岗岩黑云母  $w_{\text{SO}_2} = 34.4\%$  为高,但较长江中下游花岗岩中黑云母 ( $w_{\text{SO}_2}$

本区不同时代典型岩体花岗岩中黑云母化学成

表 2 不同时代花岗岩中黑云母化学成分,  $w_B/\%$ 

Table 2 The chemical compositions of the biotite in the granite (in percentage)

序号	样号	岩体时代	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	F	H <sub>2</sub> O <sup>r</sup>	LOI	总计
1	Ab-1	$\gamma_4^3$	37.10	3.64	15.52	5.86	16.32	0.36	8.76	1.51	0.40	8.30	0.28	0.41	0.56	1.25	0.24	100.14
2	Y-001	$\gamma_4^3$	36.35	3.38	17.78	5.58	15.05	0.70	7.87	1.22	0.40	7.26	0.46	0.43	0.76	2.90	0.32	99.82
3	KD-124	$\gamma_4^3$	35.60	3.20	17.80	6.43	15.54	0.42	7.69	1.36	0.70	7.64	0.27	0.58	0.56	2.20	0.24	99.81
4	A-020	$\gamma_4^3$	36.75	3.09	15.80	7.34	14.90	0.38	7.76	2.29	0.80	7.55	0.33	0.35	0.61	2.15	0.26	99.87
5	C-001	$\gamma_4^3$	35.85	2.62	18.08	11.21	13.71	0.46	5.31	1.22	0.45	8.29	0.25	0.48	0.75	2.00	0.32	100.36
6	Ab-2	$\gamma_4^3$	30.20	1.84	22.05	9.80	18.31	0.90	8.19	0.73	0.70	1.00	0.10	0.48	0.57	0.52	0.24	100.15
7	KD-129	$\gamma_4^3$	34.40	2.60	18.80	7.31	16.91	0.72	5.21	1.26	0.60	0.85	0.27	0.85	1.70	3.02	0.72	99.78
8	013-2	$\gamma_4^3$	36.16	4.13	13.86	5.81	19.99	0.58	8.31	1.06	0.35	0.86	0.37	0.27	1.89			99.64
9	S-001	$\gamma_4^3$	36.80	3.71	15.55	7.24	14.18	0.34	9.51	1.75	0.35	7.88	0.29	0.46	0.68	1.61	0.29	100.16
10	A-004	$\gamma_5^{2-2}$	35.60	3.71	13.82	6.58	14.87	0.56	12.10	5.59	0.57	2.21	0.19	0.51	0.82	3.14	0.35	99.92
11	Dr-1	$\gamma_5^{2-3}$	34.45	2.86	13.89	14.69	16.48	0.52	4.61	1.65	0.60	4.57	0.49	1.52	0.50	3.26	0.21	99.79
12	Dr-2	$\gamma_5^{2-3}$	32.40	2.42	16.00	14.37	20.00	0.90	4.30	1.02	0.42	1.21	0.17	2.81	0.30	3.50	0.13	99.99
13	A-008	$\gamma_5^{2-3}$	36.20	1.91	19.35	5.85	20.02	0.46	3.18	0.92	0.50	9.29	0.10	0.22	2.12	1.31	0.89	100.54
14	A-018	$\gamma_5^{2-3}$	36.10	1.98	19.05	7.04	19.67	0.76	2.68	0.68	0.35	9.00	0.07	0.20	2.61	1.27	1.10	100.37
15	Dg-3	$\gamma_5^{2-3}$	35.40	3.05	12.75	7.30	16.82	0.88	11.26	1.90	0.43	5.15	0.46	0.41	2.45	2.86	1.04	100.12
16	Dg-4	$\gamma_5^{2-3}$	34.40	3.53	12.86	12.31	14.03	0.66	9.79	3.36	0.48	4.32	0.38	0.59	1.69	2.80	0.71	100.49
17	5440	$\gamma_5^{2-3}$	37.06	2.24	19.52	6.71	23.35	0.37	1.18	0.06	0.40	7.50	0.06	0.09	1.18			99.72
18	5442	$\gamma_5^{2-3}$	36.94	2.85	17.74	5.62	23.86	0.34	2.84	0.30	0.20	6.51	0.11	0.80	2.28			100.39
19	5443	$\gamma_5^{2-3}$	37.72	1.61	20.97	7.08	21.20	0.38	0.79	0.12	0.25	8.52	0.07	0.39	0.83			99.98
20	5444	$\gamma_5^{2-3}$	40.07	2.46	18.55	4.79	19.84	0.25	2.97	0.12	0.39	9.11	0.08	0.27	0.89			99.79
21	8911	$\gamma_5^{2-3}$	36.27	2.97	15.65	5.90	24.28	0.79	2.47	1.19	0.60	5.61	0.33	0.38	2.83			99.33
22	8915	$\gamma_5^{2-3}$	35.68	3.15	14.67	8.19	21.85	0.81	3.20	0.76	0.30	6.96	0.55	0.38	2.69			99.44
23	013-1	$\gamma_5^{2-3}$	31.65	3.12	14.70	10.14	26.46	0.50	3.52	0.56	0.42	2.62	0.31	0.80	3.76			99.56
24	5439	$\gamma_5^{2-3}$	36.94	4.88	14.34	2.35	17.69	0.18	12.54	1.03	0.30	7.28	0.12	0.36	1.96			99.97
25	5441	$\gamma_5^{3-1}$	34.53	2.15	17.80	5.68	26.76	0.45	0.95	0.20	0.30	5.64	0.09	2.36	2.60			99.51
26	ZK2104	$\gamma_5^{3-1}$	32.30	2.77	16.70	8.01	14.20	0.49	3.26	1.03	0.42	2.50	0.20	0.31	3.80			99.51
27	8036	$\gamma_5^{3-1}$	35.02	3.24	15.37	20.11	26.46	0.33	2.09	1.20	0.24	3.06	0.23	1.22	4.08			100.39

注: 岩石类型: 1-9号样品为黑云母二长花岗岩; 10号样品为花岗闪长斑岩; 11号样品为粗粒黑云母花岗岩; 12号样品为细粒黑云母花岗岩; 13号样品为似斑状黑云母花岗岩; 14-16号样品为黑云母钾长花岗岩; 17-27号样品为钾长花岗岩

表 3 花岗岩中黑云母单位晶胞离子数

Table 3 The ions of unit lattice cell of biotite in the granite

序号	样号	岩体时代	Si	Al	Al	Ti	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mg	Mn	Ca	Na	K	OH	F
1	Ab-1	$\gamma_4^3$	2.941	1.059	0.383	0.216	0.340	1.076	1.030	0.024	0.128	0.061	0.835	0.660	0.139
2	Y-001	$\gamma_4^3$	2.788	1.212	0.397	0.193	0.322	0.666	0.901	0.046	0.100	0.059	0.711	1.489	0.103
3	KD-124	$\gamma_4^3$	2.772	1.228	0.407	0.187	0.377	1.012	0.893	0.027	0.113	0.106	0.760	1.173	0.137
4	A-020	$\gamma_4^3$	2.865	1.136	0.317	0.181	0.430	0.971	0.901	0.025	0.191	0.122	0.751	1.120	0.149
5	C-001	$\gamma_4^3$	2.795	1.202	0.462	0.154	0.659	0.545	0.620	0.031	0.102	0.018	0.826	1.042	0.185
6	Ab-2	$\gamma_4^3$	2.185	1.815	0.067	0.100	0.534	1.019	0.608	0.048	0.106	0.092	0.685	1.580	0.421
7	KD-129	$\gamma_4^3$	2.195	1.305	0.432	0.154	0.531	1.019	0.608	0.048	0.106	0.092	0.685	1.580	0.421
8	S-001	$\gamma_4^3$	2.571	1.129	0.301	0.218	0.427	0.925	1.106	0.022	0.147	0.052	0.784	0.840	0.157
10	A-004	$\gamma_5^{2-2}$	2.701	1.238		0.212	0.376	0.044	1.370	0.360	0.454	0.084	0.215	1.590	0.196
11	Dr-1	$\gamma_5^{2-3}$	2.728	1.272	0.187	0.171	0.878	1.093	0.543	0.035	0.138	0.092	0.462	1.727	0.125
12	Dr-2	$\gamma_5^{2-3}$	2.594	1.406	0.102	0.146	0.866	1.340	0.514	0.061	0.087	0.065	0.123	1.240	0.076
13	A-008	$\gamma_5^{2-3}$	2.901	1.099	0.730	0.115	0.352	1.352	0.379	0.031	0.079	0.077	0.950	0.703	0.538
14	A-018	$\gamma_5^{2-3}$	2.901	1.099	0.705	0.120	0.426	1.323	0.327	0.062	0.058	0.054	0.923	0.675	0.664
15	Dg-3	$\gamma_5^{2-3}$	2.757	1.178		0.180	0.432	1.103	1.317	0.059	0.159	0.066	0.516	1.495	0.664
16	Dg-4	$\gamma_5^{2-3}$	2.604	1.148		0.201	0.701	0.889	1.148	0.042	0.272	0.070	0.419	1.412	
17	5440	$\gamma_5^{2-3}$	2.994	1.006	0.553	0.136	0.408	1.578	0.142	0.025	0.005	0.064	0.774	0.340	
18	5442	$\gamma_5^{2-3}$	3.034	0.966	0.737	0.177	0.347	1.438	0.348	0.024	0.027	0.032	0.720	0.320	
19	5443	$\gamma_5^{2-3}$	3.027	0.973	1.010	0.097	0.428	1.432	0.095	0.026	0.010	0.039	0.872	0.240	
20	5444	$\gamma_5^{2-3}$	3.172	0.828	0.902	0.147	0.386	1.314	0.350	0.017	0.010	0.061	0.914	0.320	
22	8915	$\gamma_5^{2-3}$	2.981	1.019	0.426	0.221	0.515	1.527	0.399	0.058	0.068	0.048	0.702	0.420	
23	013-1	$\gamma_5^{2-3}$	2.733	1.267	0.229	0.203	0.658	1.911	0.454	0.037	0.145	0.070	0.288	0.240	
24	5439	$\gamma_5^{2-3}$													
25	5441	$\gamma_5^{3-1}$	2.935	1.065	0.718	0.137	0.363	1.903	0.121	0.033	0.018	0.050	0.613	0.460	
26	ZK2104	$\gamma_5^{3-1}$	2.758	1.240	0.439	0.178	0.515	1.975	0.414	0.035	0.099	0.069	0.273	0.280	
27	8036	$\gamma_5^{3-1}$	2.680	1.320	0.060	0.180	0.400	2.330	0.240	0.020	0.100	0.040	0.300	1.000	

(以氧原子数为 22 计算)

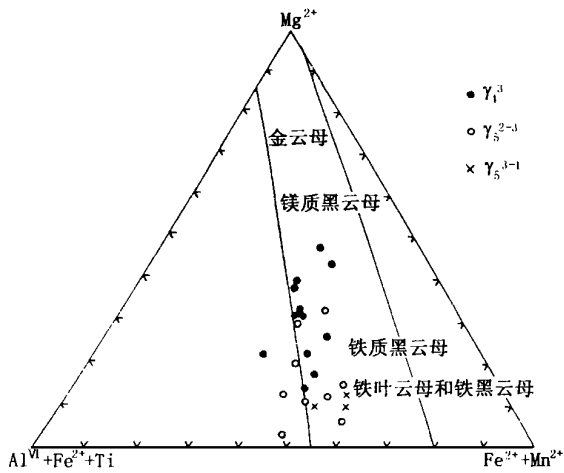


图1 黑云母的  $Mg-(Al^{VI}+R^2)-(Fe^{2+}+Mn)$  图解 (据 Foster, 1960)

Fig. 1  $Mg-(Al^{VI}+R^2)-(Fe^{2+}+Mn)$  diagram of biotite (after Foster, 1960)

( $w(SiO_2) = 36.4\%$ ) 为低<sup>[1]</sup>。其中海西晚期花岗岩中黑云母  $w(SiO_2)$  为 35.4%, 燕山中期 ( $\gamma_5^{2-2}$ ) 花岗岩体中黑云母  $w(SiO_2)$  为 35.8%, 较前者略高, 但早白垩世花岗质岩体 ( $\gamma_5^{3-1}$ ) 黑云母  $w(SiO_2)$  偏低, 为 33.9%, 晚侏罗花岗质岩体 ( $\gamma^{2-3}$ ) 在南北两个岩区又有明显的不同, 北区花岗岩中黑云母的  $w(SiO_2)$  为 34.8%, 而南区花岗岩体中黑云母  $w(SiO_2)$  平均为 36.54%, 前者接近南岭花岗岩系列中黑云母的  $w(SiO_2)$ , 后者接近长江中下游花岗岩系列中黑云母的  $SiO_2$  质量分数。

本区黑云母的  $w(Al_2O_3)$  平均为 16.6%, 明显较华南南岭系列花岗岩黑云母为高, 而与长江中下游系列花岗岩中黑云母相近。本区黑云母中  $Al_2O_3$  差别不大, 海西晚期花岗岩体中黑云母的  $w(Al_2O_3)$  平均值为 17.25%, 燕山期花岗岩体中黑云母的  $w(Al_2O_3)$  平均值为 16.6%。

本区黑云母中  $w(Na_2O+K_2O)$  平均为 6.45%, 较华南南岭和长江中下游二成因系列花岗岩中黑云母均较低, 其中海西晚期花岗岩中黑云母平均为 8.1%,  $\gamma_5^{2-3}$  花岗岩中黑云母为 6.8%,  $\gamma_5^{3-1}$  花岗岩中黑云母为 4.05%, 即随岩体时代变新, 黑云母中碱质量分数明显依次降低。

岩体中  $F/Cl$  平均值为 2.1, 其中  $\gamma_5^{2-3}$  为 2.1,  $\gamma_5^{3-1}$  为 1.43, 均较华南花岗岩为低, 与长江中下游花岗岩成因系列相近。

将本区黑云母单位晶胞离子数投在 Forster (1960) 的  $Mg-(Fe^{2+}+Mn)-(Fe^{3+}+Al^{VI}+Ti)$  三角图<sup>[2]</sup>中 (图 1) 可知, 本区黑云母主要投点于  $Mg:(Fe^{2+}+Mn) = 45:55$  线以下的区域, 海西晚期岩

体中的黑云母为铁质黑云母。燕山期花岗岩体中的黑云母多数为铁黑云母。海西晚期花岗岩中的黑云母介于南岭花岗岩系列和长江中下游花岗岩系列之间, 而燕山期花岗岩中的黑云母更接近南岭花岗岩黑云母的特点。

从黑云母成分特点可看出, 本区花岗岩中的黑云母随侵入体年代的不同, 成分有相应的变化, 随时代的变新, 黑云母中的  $w(SiO_2)$  增高,  $w(Al_2O_3)$  降低, 碱质量分数和  $F/Cl$  比值降低, 而  $FeO$  质量分数增高, 其总体成分特征介于南岭花岗岩系列和长江中下游花岗岩系列之间, 反映了本区花岗岩成因的二重性, 即兼具有 I 型和 S 型花岗岩的特点。

## 4 黑云母中微量元素特点

为查明黑云母中微量元素的分配特点, 对全区不同时代 27 个黑云母样品进行了主要微量元素的定量分析, 分析结果如表 4。由于黑云母成分复杂和层状结构的特点, 易于呈类质同像和元素混入物的形式进入大量的微量元素。按黑云母选择分配元素的地球化学特点, 可将微量元素区分为两类, 指示元素和波动元素, 指示元素又可分为深源指示元素 (如  $Co, Ni, Cr, V$  等) 和浅源指示元素 ( $W, Sn$  等), 波动元素有  $Cu, Pb, Zn, Ag$  等。

从表中看出, 本区黑云母中特征微量元素质量分数比这些元素在相应岩石中的质量分数<sup>[3]</sup>为高, 某些甚至高出 3~5 倍。

### 4.1 $Co, Ni$

在不同时代花岗岩黑云母中  $Co, Ni$  质量分数是不同的,  $\gamma_4^3$  岩类中黑云母  $Co$  平均质量分数为  $18.5 \times 10^{-6}$ ,  $Ni$  平均质量分数为  $18.7 \times 10^{-6}$ , 在燕山期  $\gamma_5^{2-3}$  岩类黑云母中  $Co$  平均质量分数为  $15.2 \times 10^{-6}$ ,  $Ni$  平均质量分数为  $16.5 \times 10^{-6}$ , 比海西晚期岩类黑云母中质量分数略低, 燕山期  $\gamma_5^{3-1}$  岩类黑云母中  $Co$  平均质量分数为  $5.8 \times 10^{-6}$ ,  $Ni$  平均质量分数为  $5.3 \times 10^{-6}$ , 比前两期岩类黑云母中质量分数明显为低, 与其所在岩类中岩石的质量分数相近, 可能是燕山期岩类, 特别是  $\gamma_5^{3-1}$  岩类多为小侵入体且富含挥发性组分,  $Co, Ni$  在岩浆演化过程中随挥发组分分析出有关。

### 4.2 $Cr, V$

$Cr, V$  是深源指示元素, 在本区黑云母中质量分数较高, 高出其所在岩类中岩石的 2 倍左右, 其中  $\gamma_4^3$  岩类中黑云母  $Cr$  平均质量分数为  $54.3 \times 10^{-6}$ ,  $V$  平均质量分数为  $93.9 \times 10^{-6}$ , 在燕山期  $\gamma_5^{2-3}$  岩类

中黑云母 Cr 平均质量分数为  $15.3 \times 10^{-6}$ , V 平均质量分数为  $63.5 \times 10^{-6}$ , 比海西晚期黑云母中 Cr, V 明显为低, 燕山期  $\gamma_5^{3-1}$  岩类黑云母中 Cr 平均质量分数为  $5.1 \times 10^{-6}$ , V 平均质量分数为  $23.8 \times 10^{-6}$ , 而随着岩类时代的变新, 黑云母中 Cr, V 质量分数明显降低, 而海西期岩类和燕山期岩类黑云母中 Cr, V 质量分数差别较大, 表明它们的岩浆来源有所差异。

#### 4.3 Sn

Sn 是浅源指示元素, 云母是花岗岩中 Sn 的主要载体矿物, 其中  $\gamma_4^3$  花岗岩类中黑云母 Sn 平均质

量分数为  $12.4 \times 10^{-6}$ , 在燕山期  $\gamma_5^{2-3}$  岩类黑云母中 Sn 平均质量分数为  $74.2 \times 10^{-6}$ 。燕山期  $\gamma_5^{3-1}$  岩类黑云母中 Sn 平均质量分数为  $250 \times 10^{-6}$ , 为  $\gamma_4^3$  花岗岩类中黑云母 Sn 的质量分数和  $\gamma_5^{2-3}$  花岗岩类黑云母中 Sn 的质量分数的 4~8 倍, 且愈到晚期岩体愈富 Sn 区内成矿条件较好的南部区  $\gamma_5^{2-3}$  岩体黑云母中 Sn 平均质量分数为  $92.5 \times 10^{-6}$  (4), 北区不形成 Sn 矿的  $\gamma_5^{2-3}$  岩体黑云母中 Sn 平均质量分数为  $49.4 \times 10^{-6}$ , 故可以  $50 \times 10^{-6}$  作为判别锡成矿岩体的标志。

表 4 花岗岩黑云母微量元素分析结果.  $w(B) / 10^{-6}$

Table 4 The chemical composition of trace elements in the biotite of granite (in  $\times 10^{-6}$ )

序号	样号	岩体时代	Cr	Co	Ni	V	Ag	Sn	Cu	Pb	Zn	Bi	F	Cl
1	Ab-1	$\gamma_4^3$	75.00	19.30	19.10	76.50	0.28	4.60	7.50	12.00	173.00	0.25	0.56	
2	Y-001	$\gamma_{43}$	62.00	17.00	14.90	98.00	0.86	4.50	9.00	17.60	108.00	1.25	0.76	
3	KD-124	$\gamma_4^3$	30.00	15.10	13.70	86.50	0.62	13.80	12.60	34.80	157.00	1.78	0.56	
4	A-020	$\gamma_4^3$	87.00	19.50	29.00	68.00	0.28	14.20	12.60	18.50	148.00	1.02	0.61	
5	C-001	$\gamma_4^3$	30.00	12.80	12.30	57.90	0.38	22.50	9.80	9.00	139.00	1.47	0.75	
6	Ab-2	$\gamma_4^3$	45.00	15.00	30.00	40.00	0.40	10.00	16.00	46.00	100.00	3.00	0.57	
7	KD-129	$\gamma_4^3$	12.00	12.00	10.00	110.00	0.25	7.00	24.00	25.00	12.00		1.70	
8	013-2	$\gamma_4^3$	91.00	35.20	19.00	218.00	0.03	29.00	30.80	54.60	534.00	2.70	0.51	0.69
9	S-001	$\gamma_4^3$	57.00	20.00	20.00	90.00	0.29	6.40	8.80	12.50	130.00	1.62	0.18	
	平均		54.30	18.50	18.70	93.90	0.38	12.40	14.60	25.60	166.00	1.64	0.69	
11	Dr-1	$\gamma_5^{2-3}$	13.40	16.50	14.90	24.00	0.76	60.00	91.00	81.00	210.00	1.27	0.50	
12	Dr-2	$\gamma_5^{2-3}$	7.00	20.00	40.00	12.00	1.00	140.00	280.00	40.00			0.30	
13	A-008	$\gamma_5^{2-3}$	7.50	11.90	21.00	71.00	0.55	25.00	13.50	11.80	157.00	1.31	2.12	
14	A-018	$\gamma_5^{2-3}$	25.50	7.60	10.10	22.50	0.45	31.50	36.00	18.00	178.00	1.20	0.61	
15	Dg-3	$\gamma_5^{2-3}$	11.90	21.00	14.90	23.50	0.62	31.50	42.20	180.00	665.00	0.29	2.48	
16	Dg-4	$\gamma_5^{2-3}$	11.00	20.20	17.60	26.70	0.24	8.40	33.50	420.00	245.00	0.98	1.69	
17	5440	$\gamma_5^{2-3}$	8.00	5.98	2.84	15.80	0.03	80.00	6.63	22.00	321.00	0.10	0.68	0.33
18	5442	$\gamma_5^{2-3}$	13.10	6.58	71.80	60.90	0.05	62.00	5.44	41.50	497.00	6.05	0.85	0.16
19	5443	$\gamma_5^{2-3}$	8.50	3.34	3.31	8.62	0.04	62.00	5.10	41.30	418.00	7.30	0.41	0.46
20	5444	$\gamma_5^{2-3}$	10.70	2.14	3.60	59.70	0.03	88.00	12.60	43.60	264.00		0.53	0.56
21	8911	$\gamma_5^{2-3}$	26.00	10.40	3.69	69.10	0.10	200.00	130.00	176.00	1722.00	0.45	0.70	0.44
22	8915	$\gamma_5^{2-3}$	15.40	13.88	1.66	65.55	0.14	170.00	14.50	135.00	769.00	0.91	0.43	0.16
23	013-1	$\gamma_5^{2-3}$	23.00	14.10	8.92	81.00	0.52	76.00	17.60	160.00	1922.00	3.60	0.50	0.63
24	5439	$\gamma_5^{2-3}$	53.00	59.70		311.00	0.03	3.50	5.27	15.60	288.00	0.11	0.80	0.63
	平均		15.30	15.20	16.50	63.50	0.33	74.20	49.50	105.10	553.30	1.54	1.04	0.42
25	5441	$\gamma_5^{3-1}$	4.80	0.59					11.30	39.60	439.00		0.73	0.28
26	ZK2104	$\gamma_5^{3-1}$	3.30	10.95	1.94	22.40	0.47	250.00	41.20	48.99	730.00	3.80	0.24	0.31
27	8036	$\gamma_5^{3-1}$	7.10	5.90	8.73	24.80			273.70	216.00	3262.00		0.24	0.25
	平均		5.10	5.30	5.30	23.60			108.70	101.50	1476.00		0.40	0.28

#### 4.4 Cu, Pb, Zn, Ag

这些亲硫元素在黑云母中变化幅度较大, 且无一定的规律。其中  $\gamma_4^3$  岩体中黑云母 Cu, Pb, Zn, Ag 的质量分数较其所在岩类中相应元素的质量分数为高, 但燕山期岩类中上述元素的质量分数变化甚大, 如  $\gamma_5^{2-3}$  岩类黑云母中 Cu, Pb, Zn, Ag 平均质量分数分别为  $49.5 \times 10^{-6}$ ,  $105 \times 10^{-6}$ ,  $553.3 \times 10^{-6}$ ,  $0.33 \times 10^{-6}$ , 高出这些元素在岩类中的质量分数, 且不同岩类变化甚大。与 Cu, Pb, Zn, Ag 矿化有成因联系的燕山期  $\gamma_5^{3-1}$  岩类中黑云母的 Cu, Pb, Zn, Ag 富集更加明显。这是由于岩浆侵入时, 富含挥发组分, 使

大量亲硫元素进入黑云母中。黑云母富含 Cu, Pb, Zn, Ag, 且含量变化大, 可作为判别多金属硫化物成矿岩体的标志。

#### 4.5 F, Cl

是花岗岩类岩体的重要挥发组分, 特别对复式岩体分异晚期的浅成侵入体 F, Cl 的质量分数更为富集, F 在花岗岩中除进入磷灰石等矿物中, 主要富集在黑云母中, 即黑云母中 F, Cl 的质量分数能反映岩体的情况。从部分黑云母中 F, Cl 的质量分数看出,  $\gamma_5^{2-3}$  岩体黑云母中 F, Cl 平均质量分数分别为 1.04% 和 0.42%,  $F/Cl = 2.48$ , 相对富含  $F \gamma_5^{3-1}$

岩体黑云母中 F, Cl 平均分别质量分数为 0.40% 和 0.28%,  $F/Cl=1.43$ , 已知  $\gamma_5^{2-3}$  岩体富含锡, 与锡矿床成矿有关, 这与 Sn 易和 F 结合形成络合物迁移的地球化学性质是一致的

## 5 黑云母的红外光谱学特征

本区黑云母的红外光谱吸收谱带由东德产 IR-75 型红外分光光度计上测定, 光源强度为 1, 增益为 1, 偏转时间为 3 s, 样品厚度为 0.2 mm~0.3 mm, 所测样品经过 10% 检查, 表明测试结果是可靠的。

由于黑云母成分复杂, 类质同像广泛, 获得的红外光谱 (图 2) 较为复杂, 主要出现在  $3700\text{ cm}^{-1}\sim 400\text{ cm}^{-1}$  范围内。在羟基振动区  $3700\text{ cm}^{-1}\sim 3500\text{ cm}^{-1}$  范围内为 OH 伸缩振动, 其中  $3700\text{ cm}^{-1}$  附近为  $Mg^{2+}-(OH)$  的伸缩振动,  $3670\text{ cm}^{-1}\sim 3620\text{ cm}^{-1}$  范围内为  $Al^{3+}, Mg^{2+}-OH$  振动,  $Al^{3+}\rightarrow Mg^{2+}$  使谱带向低频位移,  $3550\text{ cm}^{-1}$  附近的谱带为  $Fe^{2+}, Fe^{3+}-OH$  振动引起,  $Fe^{3+}\rightarrow Fe^{2+}$  使谱带向高频位移,  $3440\text{ cm}^{-1}$  附近的谱带为层间  $H_2O$  分子和  $K^+, Na^+, Ca^{2+}-OH$  振动频率的耦合振动谱带, K, Ca 质量分数增高使谱带向低频位移, 而 Na 增高使谱带向高频位移。

在晶格振动区  $1000\text{ cm}^{-1}\sim 400\text{ cm}^{-1}$  范围内,  $1000\text{ cm}^{-1}$  附近谱带属  $Si-O-Si(Al)$  伸缩振动, 谱带强度为最大, 因  $Al\rightarrow Si$  使谱带向低频位移。  $780\text{ cm}^{-1}\sim 750\text{ cm}^{-1}$  谱带属  $Si-O-Al$  的弯曲振动和  $Al-O$  伸缩振动的耦合振动, 这些谱带较弱, Al 质量分数增高是谱带移向低频。  $720\text{ cm}^{-1}\sim 640\text{ cm}^{-1}$  区间为  $Si-O-Si(Al)$  的弯曲振动, 这些谱带随不同时代、不同岩体样品出现的谱带数目及强度有明显的差别。整个从  $800\text{ cm}^{-1}\sim 600\text{ cm}^{-1}$  区的各谱带强度随黑云母的成分和结构的变化而变化。  $440\text{ cm}^{-1}\sim 460\text{ cm}^{-1}$  谱带属  $Si-O-(Fe^{3+})Fe^{2+}, Mg^{2+}$  的振动,  $Fe^{2+}, Mg^{2+}$  质量分数增加均可使谱带不同程度地移向低频, 该谱带未见分裂, 反映了三八面体矿物特征。本区不同时代和地区花岗岩中的黑云母吸收谱带特征如下:

$3700\text{ cm}^{-1}$  附近  $Mg^{2+}-(OH)$  的伸缩振动, 海西期岩体在  $3710\text{ cm}^{-1}\sim 3690\text{ cm}^{-1}$  范围内变化, 燕山期  $\gamma_5^{2-3}$  岩体在  $3685\text{ cm}^{-1}\sim 3665\text{ cm}^{-1}$  范围内变化。表明随时代变新, 单位  $Mg^{2+}$  增加, 使谱带向低频位移。  $3670\text{ cm}^{-1}$  附近  $Al^{3+}, Mg^{2+}-OH$  的振动, 在  $\gamma_4^3$  岩体黑云母为  $3448\text{ cm}^{-1}\sim 3445\text{ cm}^{-1}$ , 燕山期  $\gamma_5^{2-3}$  岩体中黑云母为  $3670\text{ cm}^{-1}\sim 3660$

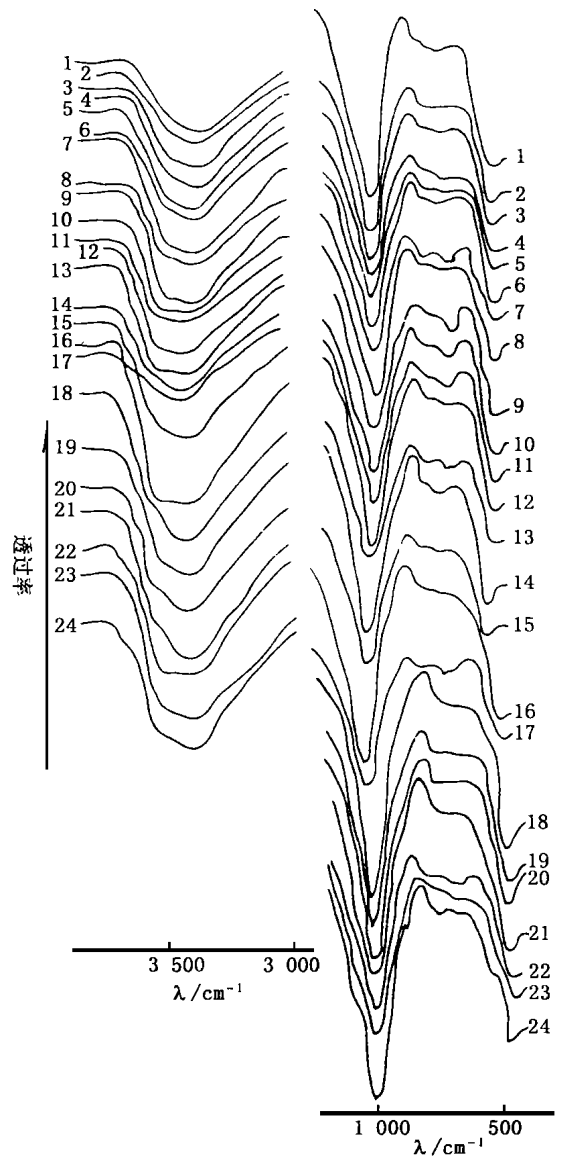


图 2 黑云母的红外光谱图

Fig. 2 Infrared spectra of biotite

$\text{cm}^{-1}$ , 燕山期  $\gamma_5^{3-1}$  岩体黑云母为  $3663\text{ cm}^{-1}\sim 3661\text{ cm}^{-1}$ , 表明随时代变新 Al 置换 Mg 增高, 这与化学分析的计算结果是一致的。  $3500\text{ cm}^{-1}$  附近  $Fe^{2+}, Fe^{3+}-OH$  的振动谱带,  $\gamma_4^3$  岩体黑云母为  $3590\text{ cm}^{-1}\sim 3580\text{ cm}^{-1}$ , 燕山中期  $\gamma_5^{2-2}$  花岗岩中黑云母为  $3575\text{ cm}^{-1}$ , 燕山期  $\gamma_5^{2-3}$  岩体中黑云母为  $3580\text{ cm}^{-1}\sim 3550\text{ cm}^{-1}$ , 燕山期  $\gamma_5^{3-1}$  岩体黑云母为  $3548\text{ cm}^{-1}\sim 3540\text{ cm}^{-1}$ , 表明随时代变新,  $Fe^{3+}$  在黑云母中质量分数降低, 使谱带向低频位移。  $3440\text{ cm}^{-1}$  附近谱带,  $\gamma_4^3$  岩体黑云母为  $3448\text{ cm}^{-1}\sim 3445\text{ cm}^{-1}$ , 燕山中期  $\gamma_5^{2-2}$  花岗岩中黑云母为  $3428\text{ cm}^{-1}$ , 燕山期  $\gamma_5^{2-3}$  岩体中黑云母为  $3442\text{ cm}^{-1}\sim 3430\text{ cm}^{-1}$ , 燕山期  $\gamma_5^{3-1}$  岩体黑云母为  $3440\text{ cm}^{-1}$

$\sim 3436\text{ cm}^{-1}$ , 上述表明燕山期各次岩体黑云母谱带频率相近, 而海西期岩体黑云母谱带频率偏高, 表明海西期岩体黑云母单位晶胞内 K, Na 较高, 使谱带向高频位移。  $1000\text{ cm}^{-1}$  附近谱带,  $\gamma_4^3$  岩体黑云母为  $998\text{ cm}^{-1}\sim 993\text{ cm}^{-1}$ , 燕山中期  $\gamma_5^{2-2}$  花岗岩中黑云母为  $995\text{ cm}^{-1}$ , 燕山期  $\gamma_5^{2-3}$  岩体中黑云母为  $1000\text{ cm}^{-1}\sim 1008\text{ cm}^{-1}$ , 燕山期  $\gamma_5^{3-1}$  岩体黑云母为  $1002\text{ cm}^{-1}\sim 1001\text{ cm}^{-1}$ , 因  $\text{Al}^{\text{IV}} \rightarrow \text{Si}$  使谱带向低频位移。  $780\text{ cm}^{-1}\sim 750\text{ cm}^{-1}$  附近谱带,  $\gamma_4^3$  岩体黑云母为  $780\text{ cm}^{-1}\sim 771\text{ cm}^{-1}$ , 燕山中期  $\gamma_5^{2-2}$  花岗岩中黑云母为  $752\text{ cm}^{-1}$ , 燕山期  $\gamma_5^{2-3}$  岩体中黑云母为  $778\text{ cm}^{-1}\sim 750\text{ cm}^{-1}$ , 燕山期  $\gamma_5^{3-1}$  岩体黑云母为  $770\text{ cm}^{-1}\sim 748\text{ cm}^{-1}$ , 燕山期岩体黑云母谱带变化范围大且不稳定, 但海西晚期岩体黑云母谱带稳定且偏高, 表明形成于不同条件下的燕山期岩体, 其黑云母中  $\text{Al}^{\text{IV}}$  替代  $\text{Si}^{\text{IV}}$  的程度不同, 但海西期岩体黑云母属  $\text{Al}^{\text{IV}}$  替代  $\text{Si}^{\text{IV}}$  稳定且含量低, 导致谱带向高频位移。  $720\text{ cm}^{-1}\sim 640\text{ cm}^{-1}$  区间谱带, 不同样品出现谱带的强度及分辨率不同, 尤其随岩体黑云母时代不同, 该谱带出现明显的差异, 此谱带可能与 Al/Si 的有序无序有关。  $460\text{ cm}^{-1}\sim 450\text{ cm}^{-1}$  范围内的谱带,  $\gamma_4^3$  岩体黑云母为  $455\text{ cm}^{-1}\sim 451\text{ cm}^{-1}$ , 燕山中期  $\gamma_5^{2-2}$  花岗岩中黑云母为  $455\text{ cm}^{-1}$ , 燕山期  $\gamma_5^{2-3}$  岩体中黑云母为  $468\text{ cm}^{-1}\sim 445\text{ cm}^{-1}$ , 燕山期  $\gamma_5^{3-1}$  岩体黑云母为  $446\text{ cm}^{-1}\sim 462\text{ cm}^{-1}$ , 除海西晚期岩体黑云母谱带较为稳定为外, 燕山期岩体黑云母谱带变化范围大, 总体随  $\text{Fe}^3$  ( $\text{Fe}^{2+}$ ) 置换 Mg 的程度增加, 谱

带向低频位移

## 6 黑云母的地球化学特征及成因意义

黑云母是花岗岩的主要矿物, 其标型和成分特征能反映花岗岩浆的演化及形成条件, 岩浆的物质来源及与成矿有关的问题。

在化学成分上, 海西晚期花岗岩类黑云母 Mg 高  $\text{Fe}^{2+}$  低, Mg 原子数  $> 0.6$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  原子数  $< 1.1$  而燕山期  $\gamma_5^{2-3}$  岩类黑云母 Mg 原子数多数  $< 0.6$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  原子数  $> 1.1$ , 仅 Dg-3 和 Dg-4 样品镁离子数大于二价铁离子数, 表现出富镁的特点, 偏离上述规律, 通过对薄片进一步观察, 发现该岩体中的黑云母边部普遍存在铁质析出现象, 因而可能的原因是黑云母遭受后期蚀变作用使二价铁析出。 燕山晚期  $\gamma_5^{3-1}$  花岗岩类黑云母 Mg 原子数  $< 0.4$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  原子数  $> 1.9$  依此可作为判别岩体时代的标志。

黑云母的成分还可以判断岩石的物质来源, 洪大卫<sup>[1]</sup>、杨文金<sup>[5,6]</sup>等人研究了华南长江中下游同熔型花岗岩和南岭壳源型花岗岩黑云母的成分特征, 并得出明显的区别标志, 如表 5。

将本区黑云母的各种参数与之对比可看出, 本区黑云母参数介于华南二系列之间, 兼具二系列的某些特点, 这与本区花岗岩岩石化学和地球化学特点所得出的结论是一致的。

表 5 本区黑云母与华南二成因系列花岗岩黑云母特征对比<sup>[1,5]</sup>

Table 5 The correlation of biotite characteristics of granite between south-middle section of the Great Xinan Mountains and South China

	南岭系列	长江中下游系列	大兴安岭中南段
全岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$> 0.710$	$< 0.710$	$0.7024\sim 0.7096$
全岩 $\delta^{80}\text{‰}$	$> 10$	$< 10$	$8.4\sim 9$
全岩微量元素	富 Rb, Sn, W, Be	富 Co, Ni, Ba, V	富 Co, Ni, V, Sn, W
云母组合	黑云母+ 白云母+ 钛铁矿+ 富铝硅酸盐	黑云母+ 磁铁矿+ 角闪石+ 贫铝硅酸盐	黑云母+ 磁铁矿+ 富铝硅酸盐
多色性	大多数为褐红—浅绿	大多数褐红—棕红	褐绿—深褐
$N_{\text{g}}$	大多数 $> 1.6400$	大多数 $< 1.6400$	$> 1.6400$
$\text{Al}_2\text{O}_3$	大多数 $> 15\%$	大多数 $< 15\%$	$2/3 > 15\%$ , $1/3 < 15\%$
$\text{TiO}_2$	大多数 $> 3.0\%$	大多数 $< 3.0\%$	$1/2 > 3\%$ , $1/2 < 3\%$
MgO	$< 8.0\%$	$> 8.0\%$	$< 8.0\%$
M	$< 0.45$	$> 0.45$	大多数 $< 5$
F/Cl	75	$< 5$	$< 5$
八面体主要阳离子组合	$\text{Al}^{\text{VI}} + \text{Fe}^{2+} + \text{Li} + \text{Mg}$	$\text{Ti} + \text{Mg} + \text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$	$\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + \text{Al} + \text{Mg} + \text{Ti}$
八面体附加电价微量元素	$< + 0.6$ , 富 Sn, Nb, Ti, Rb	$> + 0.6$	$< + 0.6$ , 富 Co, Ni, Sn

在黑云母  $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO}) - \text{MgO}$  与岩浆来源的物质关系图解中(图略), 本区黑云母成分投点于 MC(壳幔混源)区, 在黑云母  $\text{Fe}^{2+} - \text{Fe}^{3+} - \text{Mg}$  与岩

浆物源关系图解(图略)中, 投点亦落入 MC 区, 从而表明本区花岗岩的壳幔混源特点。

本区各时代岩体中的黑云母的矿物化学成分特

点对判别成矿岩体具有重要指示意义。海西期与成矿关系不大的花岗岩岩基黑云母  $\text{SiO}_2$  质量分数低,  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  低,  $w(\text{MgO}) > 6\%$ , 微量元素富 Cr, Co, Ni, V 贫 Sn, Pb, Zn, Cu, 且元素离差甚小。与成矿有关的燕山期岩体黑云母的矿物化学特点则与之有明显的不同, 即使在燕山期岩体中不同成矿岩体的特征也有所不同。南部地区与 W, Sn 成矿有关的  $\gamma_5^{2-3}$  岩体中黑云母以富 Si, Fe 贫 Mg 为特点,  $w(\text{SiO}_2) > 36.5\%$ ,  $w(\text{FeO}) > 7.26\%$ ,  $w(\text{MgO}) < 3\%$ , 微量元

素富 Sn, 平均质量分数为  $92.5 \times 10^{-6}$ , 而北区与 Cu, Pb, Zn 成矿有关的  $\gamma_5^{2-3}$  岩体黑云母中  $w(\text{SiO}_2)$  较 Sn 成矿岩体为低, 微量元素  $w(\text{Sn})$  平均为  $49.4 \times 10^{-6}$ , 而 Cu, Pb, Zn 高出岩体的 5~10 倍, 且方差大, 亦明显较富 Sn 花岗岩为高。与 Sn 多金属矿床成矿有关的  $\gamma_5^{3-1}$  花岗岩黑云母中 Sn, Cu, Pb, Zn 质量分数均高出相应岩体的 5~10 倍, 故黑云母的矿物化学和微量元素特征可作为判别成矿岩体的标志。

## 参考文献

- 1 洪大卫. 华南花岗岩的黑云母和矿物相及其与矿化系列的关系 [J]. 地质学报, 1982, (2)
- 2 Foster M D. Interpretation of composition of trioctahedral micas [J]. *U S Geol Surv Prof.* 1960, 354-B, 1-49
- 3 李鹤年等. 大兴安岭中南段燕山期花岗岩地球化学特征及成矿作用 [C]. 中国北方花岗岩及其成矿作用论文集. 北京: 地质出版社, 1991.
- 4 郝立波, 段国正. 大兴安岭中南段含锡花岗岩地球化学特征及判别标志 [C]. 长春地质学院建院 40 周年研究论文集. 长春: 吉林科学技术出版社, 1992
- 5 扬文金, 王联奎等. 华南两个不同成因系列花岗岩的云母标型特征 [J]. 矿物学报, 1986, (4): 298-397.
- 6 扬文金, 王联奎等. 从云母微量元素特征探讨华南花岗岩的成因和演化 [J]. 矿物学报, 1988, (2): 127-135.

# MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF BIOTITE IN GRANITE IN SOUTH-MIDDLE SECTION OF THE GREAT XING'AN MOUNTAINS AND ITS GENETIC SIGNIFICANCE

Lǚ Zhi-cheng<sup>1, 2</sup> LI He-nian<sup>2</sup> LIU Cong-qiang<sup>3</sup> LIU Jia-jun<sup>1</sup> HAO Li-bo<sup>2</sup>

1 *Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang 550002*  
 2 *Changchun University of Science and Technology, Changchun 130026*  
 3 *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang 550002*

**Abstract** The mineralogical and geochemical studies of biotite occurring in the granite in the south-middle part of the Great Xing'an Mountains, show that the biotite in the late Hercynian granite, is characterized by high content of Mg and low content of  $\text{Fe}^{2+}$ . While the biotite in the late-middle Yenshanian granite are both characterized by high content of  $\text{Fe}^{2+}$  and low content of Mg. The chemical composition of biotite in the granite in the region is similar to the biotite in the Nanling granite series and to the biotite in the Middle-low reaches of the Yangtze river granite series, and manifests the granite in the region is mantle-crust mixing type. In the southern part of the region, the biotite in the late-middle Yanshanian granite related to the W, Sn mineralization is rich in Si and Fe and poor in Mg. While in the northern part of the region, the content of  $\text{SiO}_2$  in the biotite in the late-middle Yanshanian granite related to the Cu, Pb, Zn mineralization is lower than the granite, and the contents of Cu, Pb, Zn are as much as 5~10 times higher than granite.

**Key words** biotite; mineralogical characteristics; geochemical characteristics; genetic significance; south-middle part of the Great Xing'an Mountains

ISSN 1001-6872(2000)03-0001-08 CODEN KUYAE2

**Synopsis of the first author** Lǚ Zhicheng, male, 34 years old, Doctor of Petrology and Mineralogy with Changchun University of Science and Technology. Now he is engaged in postdoctor research on petrology, mineralogy and geochemistry in Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences.